

研究代表者: 物質構造科学研究所、放射光科学研究施設/構造物性研究センター 中尾裕則  
 実験グループ: 構造物性研究センターG (KEK)、山田/澤G・堀内G (産総研)、岩佐G (東北大)、宮坂G、花咲G (阪大)、有馬G、十倉G、森G (東大)、寺崎G (名大)、田口G (理研)、網塚G (北大)  
 実験課題有効期間: 2012年10月 ~ 2015年9月  
 実験ステーション: BL-3A, 4C, 8A, 8B, 11B, 16A (各期 1-4週間ずつ程度利用)

## 研究目的

強相関電子系では、電子の持つ自由度である電荷・スピン・軌道の結晶格子上での多様な振る舞いから、多彩かつ新奇な物性が発現しており、電子自由度の秩序状態の研究が物性発現機構の解明の糸口と言える。さらに注目すべき伝導特性や分極発現には、遷移金属や希土類金属イオンとイオン周りに配位する酸素などとの軌道混成状態が重要な役割を担っている。加えて、強相関電子系では外場に対して敏感に応答する物性が特徴的であり、外場応答の研究が極めて重要である。そこで本S2課題では、最近 開発・発展させてきた軟X線領域での共鳴X線散乱手法を用い、強相関電子系の物性発現に関わる電子の電荷・スピン、軌道の秩序状態、配位したイオンの電子状態、さらにそれらの外場応答の解明を目指すものである。

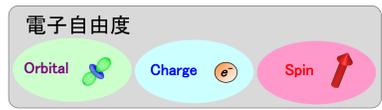
## 研究成果

### LaCoO<sub>3</sub>薄膜化により初めて出現する新奇なスピン・軌道状態

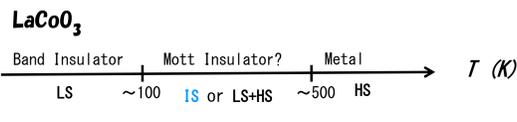
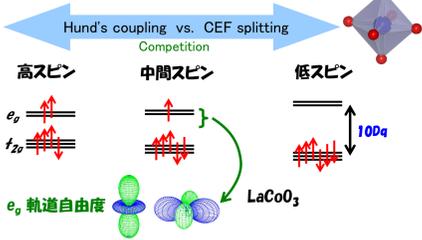
藤岡 (東大)、山崎 (KEK)

J. Fujioka et al., Phys. Rev. Lett. **111** (2013) 027206.

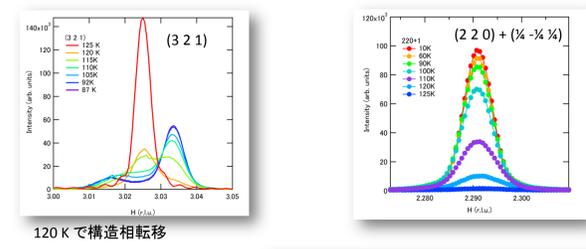
#### spin state in Co system



#### スピン状態自由度: Co<sup>3+</sup> (3d<sup>6</sup>)



#### Structure Phase Transition



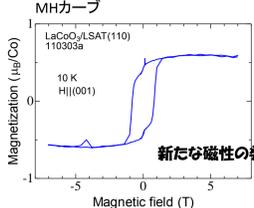
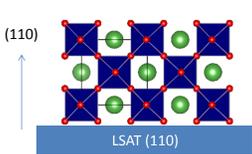
120 Kで構造相転移

220 Kで構造相転移

Shear mode lattice distortion

LSAT (110)

#### Thin film (LaCoO<sub>3</sub>/LSAT)



新たな磁性の発現

OO Intensity (arb. unit)

Temperature (K)

(2 2 0) + (1/4 -1/4 1/4)

Resonant X-ray Scattering : Co K-edge (1s → 4p)

XAS (Co K-edge ~ 7.7 keV)

1s → 4p

RXS (Co K-edge ~ 7.7 keV) @ (1/4 1/4 1/4)

Azimuthal Angle Dependence

Intensity (arb. unit)

Azimuth angle (degree)

HS (2+HS(x<sup>2</sup>-y<sup>2</sup>)) model

7.732KeV

Intensity (arb. unit)

Azimuth angle (degree)

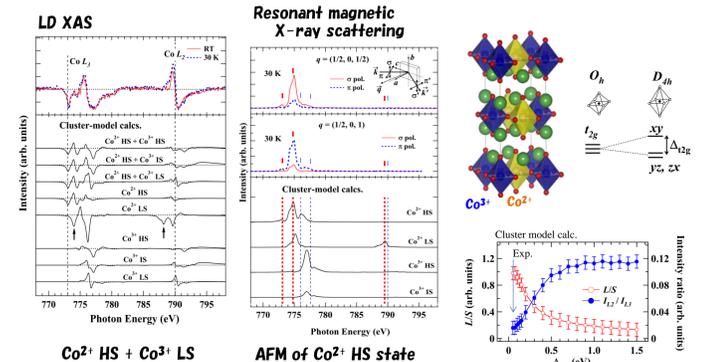
z<sup>2</sup>-x<sup>2</sup> (IS)

x<sup>2</sup>-y<sup>2</sup> (IS)

yz (HS)

### Antiferromagnetic order of the Co<sup>2+</sup> high-spin state with a large orbital angular momentum in La<sub>1.5</sub>Ca<sub>0.5</sub>CoO<sub>4</sub>

岡本 (KEK)



Co<sup>2+</sup> HS + Co<sup>3+</sup> LS

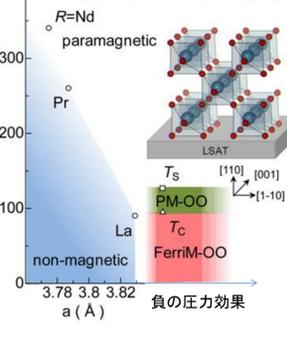
AFM of Co<sup>2+</sup> HS state

Large orbital angular momentum

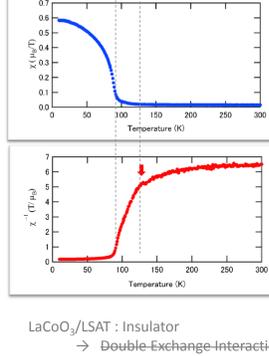
J. Okamoto et al., J. Phys. Soc. Jpn. **83** (2014).

J. Okamoto et al., J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **184** (2011) 224.

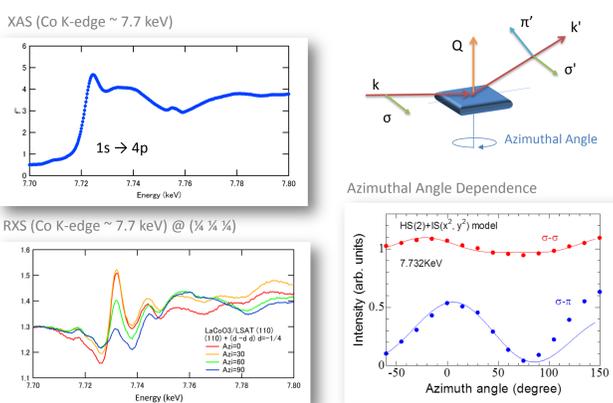
#### RCO<sub>3</sub> (bulk) LaCoO<sub>3</sub>/LSAT(110)



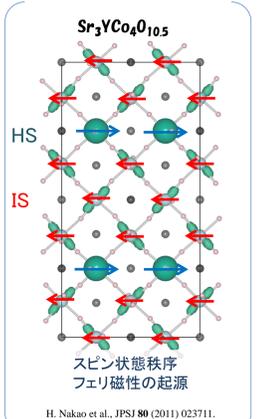
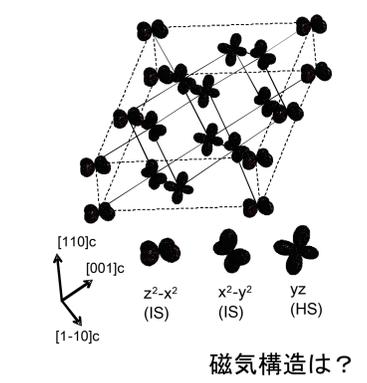
#### MTカーブ



#### Resonant X-ray Scattering : Co K-edge (1s → 4p)

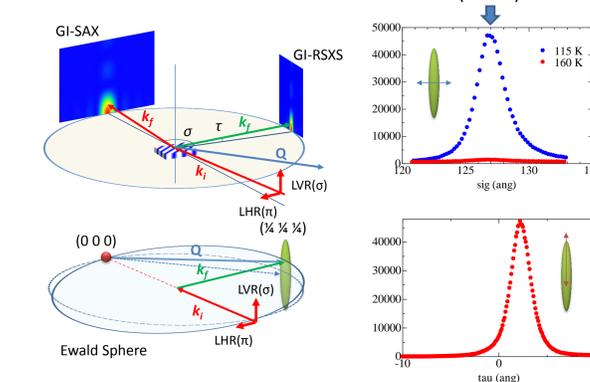


#### 新奇な軌道・スピン状態秩序構造

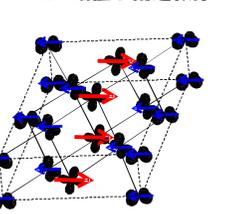


#### 共鳴軟X線磁気散乱の観測の試み

薄膜の面内の磁気信号の観測をする必要...

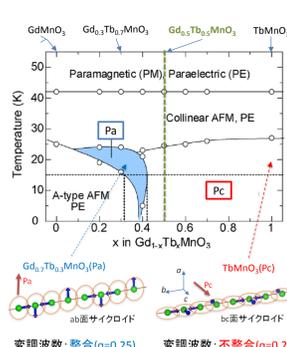


#### LaCoO<sub>3</sub>薄膜におけるフェリ磁性と軌道秩序

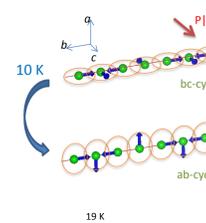


#### X-ray photo-induced rotation of ferroelectric polarization

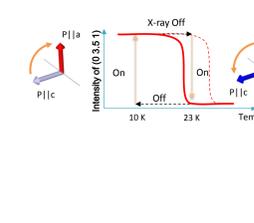
山崎 (KEK)



#### 光照射による誘電率の変化



#### 光照射による電気分極のスวิตチング



整合相 (Pa相) と不整合相 (Pc相) の間で、双方方向のX線誘起相転移現象を観測

光照射による電気分極のフロップ現象を発見

## 今後

硬・軟X線を相補的に用いた共鳴X線散乱手法を主により、強相関電子系を中心に外場応答現象に注目した構造物性研究をさらに推進する。

## 論文・学会発表等

・物理学会、応用物理学会、放射光学会、結晶学会、物構研シンポジウム等

#### 発表論文:

- R. Takahashi et al., J. Appl. Phys. **112** (2012) 073714.
- K. Takubo et al., Phys. Rev. B **86** (2012) 89.
- A. Nakao et al., J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) 054710.
- T. Matsumura et al., J. Phys. Soc. Jpn. **82** (2013) 021007.
- Y. Yamaki et al., Phys. Rev. B **87** (2013) 081107.
- K. Tomiyasu et al., Phys. Rev. B **87** (2013) 224409.
- T. Nakajima et al., J. Phys. Soc. Jpn. **82** (2013) 114711.
- J. Fujioka et al., Phys. Rev. Lett. **108** (2013) 027206.
- S. Asai et al., J. Phys. Soc. Jpn. **82** (2013) 114606.
- J. Okamoto et al., J. Phys.: Conf. Ser., **425** (2013) 202003.
- Y. Yamasaki et al., J. Phys.: Conf. Ser., **425** (2013) 132012.
- T. Kobayashi et al., Phys. Rev. B **87** (2013) 174520.
- H. Nakao et al., Solid State Commun. **185** (2014) 18.
- J. Okamoto et al., J. Phys. Soc. Jpn. **83** (2014).